

**CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO
CONTROL ROBUSTO H_∞ Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO
CONTROL ROBUSTO H_{∞} Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS**

**AUTOR:
ANDRÉS FERNANDO FALCÓN AYALA**

**TUTOR:
LEONY ORTIZ MATOS**

Quito, agosto 2019

Andrés Fernando Falcón Ayala

CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO CONTROL ROBUSTO H_{∞} Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2019

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña de autores e información de contacto.



Andrés Fernando Falcón Ayala (Y'1992-M06). Realizo sus estudios secundarios en la Unidad Educativa Salesiana Don Bosco “La-Tola” de la ciudad de Quito, Bachiller con la especialidad de Técnico Industrial. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en confiabilidad en microredes eléctricas AC/DC usando control robusto h_{∞} y estrategias de tolerancia a fallas. afalcon@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Leony Ortiz Matos (Y'1982). Recibió el título de MSc. e Ingeniería en Automática por el Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella (ISPJAM) de la Universidad de Oriente, Cuba. Actualmente se encuentra estudiando para obtener su título de Doctor en Ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana-Colombia-Medellín, es miembro del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes (GIREI). Forma parte del equipo académico de la carrera de Ingeniería Eléctrica de Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador. Sus principales intereses de investigación Automatización y Control, Control robusto y Control Tolerante a Fallos, Micro-redes Eléctricas Inteligentes híbrida, CA/CC. lortizm@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2019 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Leony Ortiz Matos declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación **“CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO CONTROL ROBUSTO H_{∞} Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS”** realizado por **Andrés Fernando Falcón Ayala**, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.



Nombre: Leony Ortiz Matos

Cédula de identidad: 1754230389

Fecha: Quito, agosto del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, **Andrés Fernando Falcón Ayala**, con documento de identificación N° 1718123423, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: **“CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO CONTROL ROBUSTO H_{∞} Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería Eléctrica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: Andrés Fernando Falcón Ayala

Cédula: 1718123423

Fecha: Quito, agosto del 2019

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	1
Abstract	1
1. Introducción	2
3 Modelado de MRs	3
3.1 Estabilidad de voltaje	3
3. Diagnóstico de fallas en MR	4
4. Diseño del sistema de control clásico.....	5
5. Diseño de sistema de control tolerante a fallos	5
5.1 Diseño del controlador H ₂	6
5.2 Diseño del controlador H _∞	6
6. Formulación del problema	7
6.1 Diseño del Controlador propuesto	7
7. Caso de estudio:	8
7.1 Modelo matemático de la MR.	9
7.2 Modelo matemático del Controlador H _∞	9
7.3 Modelo matemático del observador complementario.	10
8. Análisis de resultados	10
9. Conclusiones	11
10. Trabajos Futuros.....	12
11. Referencias.....	12
11.1 Estado del Arte	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1. Micro-red Híbrida	3
Fig 2. Sistema de control Control por H_{∞}	6
Fig 3. Controlador tolerante a fallos pasivo H_{∞} implementado.	8
Fig 4. Caso de estudio: MR híbrida tipo CA/CD	9
Fig 5. Comparación de resultados PID y H_{∞}	10
Fig 6. Comportamiento matemático de la planta	11
Fig 7. Comportamiento del observador.....	11
Fig 8. Matriz de estado del arte	16
Fig 9. Resumen e Indicadores del estado del arte	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos nominales de las cargas DC	7
Tabla 2: Datos nominales de las cargas AC	7
Tabla 3: Algoritmo utilizado y descripción de variables	8
Tabla 4: Comparación de voltajes utilizando PI y H_{∞}	11

CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO CONTROL ROBUSTO H_{∞} Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS

Resumen

En el presente trabajo de investigación muestra una novedosa técnica pasiva de tolerancia a fallos para el control de voltaje de Microrredes (MR) en AC/DC basado en el control robusto H_{∞} y observadores lineales de estado. El control robusto H_{∞} se desarrolló con el principal objetivo de incrementar la confiabilidad y mantener la estabilidad de la MR ante perturbaciones y fallas que puedan comprometer el funcionamiento de la MR como: perturbaciones instantáneas y perdidas de retroalimentación del control local AC/DC. Como demuestran los resultados obtenidos mediante simulación digital y basado en un sistema de MR tipo se logra mejorar la confiabilidad del sistema ante perturbaciones fuertes y falla total del sistema de censado a nivel primario. El estudio demuestra la necesidad de estudiar el régimen transitorio a nivel primario en las MR.

Palabras Clave: Microredes, Control pasivo, Control Robusto H_{∞} , fallas, fiabilidad, MR.

Abstract

In the present work of investigation shows a novel passive technique of tolerance for the control of voltage of Microgrids (MG) in AC / DC based on the robust control H_{∞} and linear observers of state. Robust control It refers to the main objective of increasing the reliability and maintaining the stability of the MG before disturbances and faults that can compromise the operation of the MG as: instantaneous disturbances and loss of feedback of the local control AC / DC. As has been achieved, the results have been achieved through digital simulation and the MG system. The study demonstrates the need to study the transitory regime at the primary level in the MG.

Keywords: Microgrids, Passive control, Robust control H_{∞} , failures, reliability, MG.

1. Introducción

El diseño de las Microrredes (MRs) nace para brindar una solución a lugares remotos donde, brindar el servicio de energía eléctrica es escaso, además de satisfacer el incremento progresivo de la demanda de la energía eléctrica de los usuarios en sistemas de distribución.

Las MRs son sistemas de distribución de energía autónomos. Permiten brindar fiabilidad, sostenibilidad energética, disponibilidad y el soporte de carga que va conectado al principal punto de energía.

Con el fin de diseñar sistemas de electrificación, investigadores han trabajado en modelos matemáticos que resuelvan el problema de ubicación óptima de cada tipo de componentes de potencia para electrificación y el diseño de futuras MRs. Un escenario óptimo asegura la electrificación de todos los barrios a un costo mínimo de inversión [1].

A pesar de todo, el principal inconveniente que se genera al implementar las MR, es lograr su controlabilidad y estabilidad ante las diferentes fallas existentes de todos los sistemas y componentes que componen la MR y su sistema de control. En una MR se pueden producir fallas debido a afectaciones no controlables y aleatorias que ocurren tanto a nivel interno como a nivel externo al sistema de control. Entre algunos ejemplos tenemos : la presencia de rayos en diversas regiones de la red, fallas en línea eléctrica, fallas de los sistemas de censado, en sistemas de accionamientos entre otras [2], [3].

Existen técnicas que se utilizan para el control tolerante a fallas, están divididas en dos grandes grupos los cuales son: el control tolerante a fallos pasivos (PFTC) por sus siglas en ingles

y el control tolerante a fallos activos (AFTCS por sus siglas en ingles). El principal objetivo de diseñar el controlador PFTCS es garantizar que funcione para el peor caso de fallos. De esta manera brindar seguridad a la red, además de aumentar la robustez del sistema y reducir el umbral de la falla [4].

El sistema de control permite estabilizar variables de interés como el voltaje, la corriente, la frecuencia del sistema eléctrico de la MR y que puede ser sometido a fallas o perturbaciones abruptas. Los controladores robustos facilitan un rendimiento adecuado teniendo en cuenta las incertidumbres del modelado para estos sistemas altamente no lineales. Para lograr esto se utiliza en este trabajo un diseño tolerante a fallos pasivo por control robusto H_∞ . Los controladores robustos contemplan tanto las aproximaciones de respuesta en la frecuencia además del dominio temporal, debido a esto se diferencia de los controladores normales mismos que, dependen del error entre el sistema real y su modelo teniendo la posibilidad que el sistema no sea estable [5], [6]. Además, actúan de forma bastante estable entre los límites de calidad permisibles ante las perturbaciones y fallas que se pueda suscitar en los sistemas [5], [7].

El presente trabajo se divide en diferentes secciones que se detalla a continuación. La sección 2 se expone el contenido de los temas principales en el cual fue basado el problema planteado. En la sección 3 se plantea el modelo y la metodología utilizada, además de contar con las simulaciones aplicando las estrategias de control. La sección 4 analiza y muestra los resultados obtenidos aplicando el control H_∞ a la MR. La sección 5 presenta las conclusiones a las que se ha llegado en el presente trabajo.

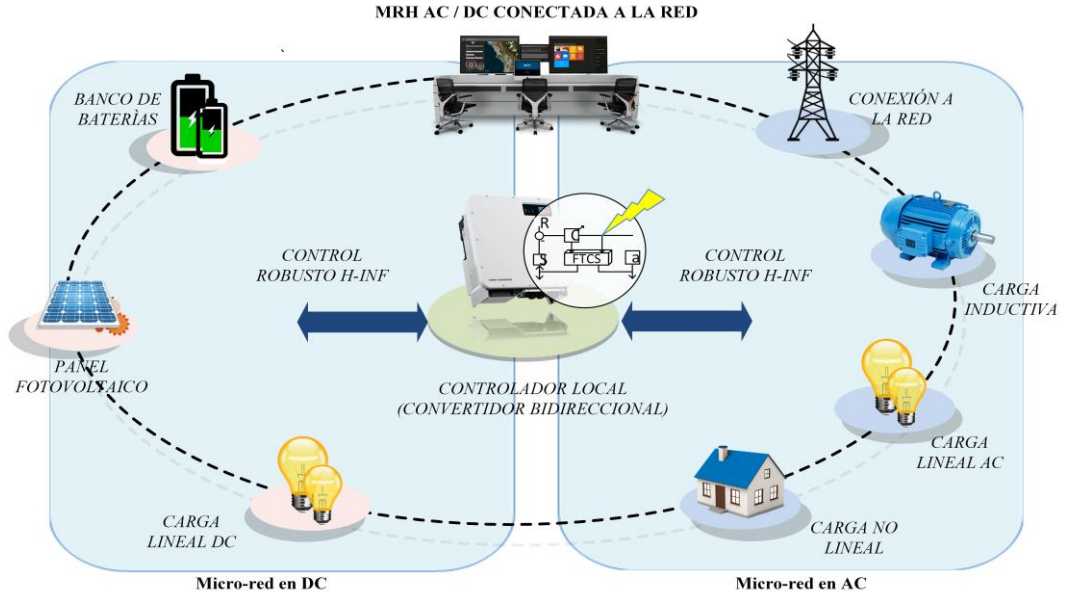


Fig. 1. Microrred Híbrida AC/DC.

3 Modelado de MRs

El modelado matemático de la MR puede ser expresado a través de un modelo diferencial algebraico no lineal semi-implícito esto se lo representa en (1),(2), y (3) [35].

$$\dot{x}(t) = f(x, z, u) \quad (1)$$

$$0 = g(x, z, u) \quad (2)$$

$$y(t) = h(x, z) \quad (3)$$

Los estados diferenciales que se asocian a las fuentes de generación distribuida está dado por x , los fasores de tensión de cada una de las barras se representan en estados algebraicos y vienen dados por z , las funciones diferenciales no lineales están representadas por f y las restricciones algebraicas por g ; puede ser la tensión en el rotor o la potencia mecánica de entrada en los generadores síncronos, y son las salidas del sistema [36], [37].

El sistema diferencial algebraico está dado por:

$$x_{k+1} = x_k + \int_{(k)\Delta t}^{(k+1)\Delta t} f(x(t), z(t), u(t)) dt \quad (4)$$

$$0 = g(x(t), z(t)) \quad (5)$$

$$k\Delta t \leq t \leq (k+1)\Delta t \quad (6)$$

De esta manera Δt representa el periodo de muestra. Otra manera de representar estas ecuaciones es:

$$x_{k+1} = F(x_k, z_k, u_k) \quad (7)$$

$$0 = g(x_{k+1}, z_{k+1}) \quad (8)$$

Donde los estados diferenciales están representados por x y los algebraicos por z .

Este sistema es uno de los más utilizados para realizar simulaciones teniendo en cuenta los estados dinámicos de las unidades generadoras.

3.1 Estabilidad de voltaje

La estabilidad de voltaje es la capacidad que posee el sistema de volver al estado de operación después de pasar por una falla, además de, tener la capacidad para que los voltajes en las barras o nodos se mantengan constantes [38]. La disminución de reactivos en el sistema

produce que el voltaje baje, la estabilidad de voltaje permite el balance de energía en la red, por lo que, al no contar con reserva de voltaje la red eléctrica está propensa a inconvenientes, es decir a ser inestable.

La inestabilidad se presenta por caídas de tensiones progresivas o por el excesivo aumento de la tensión en las barras o nodos. La inestabilidad provoca la pérdida del sincronismo en la red también, que el ángulo del rotor se inestabilice [38].

La inestabilidad es asociada con las perturbaciones que pueden desconectar total o parcialmente a la red. Las inestabilidades varían en tiempos de acción, mismos que van desde fracciones de segundo hasta varios minutos dependiendo la gravedad de la misma [38].

El estudio de la estabilidad de voltaje a largo plazo, evalúa cómo se comporta el sistema durante algunos minutos. Integrar los elementos de lenta respuesta como son los transformadores que poseen TAPs, los limitadores que controlan la corriente en los generadores. El desequilibrio de voltaje se da generalmente al existir una perturbación en el sistema reflejado en las cargas, de esta manera la potencia que se pierde en las cargas son compensadas por los reguladores de tensión, sin embargo, al actuar los reguladores, el voltaje sube abruptamente. Se necesita de mayor potencia reactiva para la compensación [39], [40].

3. Diagnóstico de fallas en MR

El diagnóstico de falla es indispensable para el sistema, ya que por medio de este se monitoriza y controla los parámetros de operación al suscitarse una falla en el sistema [41].

El modo isla es el medio de la MR que posee para protegerse ante las fallas que se presentan en la red. Las fallas se presentan por la caída de voltaje o el sobre voltaje por estos motivos los interruptores que posee la MR se disparan dejándola en modo isla protegiendo a los elementos que conforma tanto la red de distribución como la MR. Las principales causas para que el sistema falle son: fallos mecánicos, el desgaste natural de los componentes de la MR, sobrecargas y cortocircuitos [3]. Para realizar el estudio de las fallas es necesario partir de valores medidos en la red de manera física [42].

Existen diferentes tipos de fallas, las cuales se detallan a continuación [3]:

- Falla monofásica a tierra, es la falla más común que se presentan en los sistemas eléctricos. Se produce cuando una de las tres fases se conecta con la tierra produciéndose un cortocircuito.
- Falla bifásica, se presenta en los sistemas eléctricos cuando dos de sus fases se conectan produciendo un arco. Esta falla ocasiona más perturbaciones en la red que la monofásica.
- Falla bifásica a tierra. Esta falla ocurre cuando dos de las fases del sistema eléctrico están conectadas y además entran en contacto con el suelo, produciendo un cortocircuito.

Además, existen fallas en las fuentes de generación, por ejemplo: al generar energía eléctrica con los paneles solares se produce fallas por puntos calientes, que se dan por daño o sombreado del panel, y como consecuencia la corriente de la celda disminuye. Las fallas por

degradación poseen dos efectos el aumento o la disminución de la resistencia de la serie de células fotoeléctricas, si los paneles se exponen de una manera no controlada aumenta las resistencias, mientras que, si hay daños o impurezas en los cristales, además de existir depósitos de basura en la superficie o células que no estén correctamente acoplados.

Los diagnósticos de falla se basan en los resultados obtenidos mediante la medición experimental del sistema físico. Las comparaciones entre los resultados obtenidos mediante la medición experimental se comparan con los resultados teóricos. De esta manera se logra estimar el estado del sistema.

4. Diseño del sistema de control clásico

El controlador PID reacciona mediante la respuesta de frecuencia. Para ello, se debe encontrar el lugar geométrico de las raíces Dorf menciona 3 pasos: [43]

- Primero: $G(s)$ hace relación a la función de transferencia donde, se tiene que llevar a los polos y ceros de $G(s)$ al plano de s .
- Segundo: se debe escoger los ceros de la función del compensador, donde las raíces sean aceptables es decir raíces dominantes adecuadas.
- Tercero: Se debe verificar la respuesta transitoria del sistema cuando el compensador PID actúa, si no se tiene el resultado que se espera.

Para escoger los índices adecuados para los controladores PID se debe seguir tres pasos:

- Se debe escoger ω_n del sistema teniendo en cuenta el tiempo de establecimiento.
- Se determinan los tres coeficientes.
- Se busca un pre-filtro para $G_p(s)$ teniendo en cuenta que $T(s)$ no debe tener ningún cero.

El controlador PID tiene la capacidad de actuar de manera instantánea y efectiva ante problemas, fallas y perturbaciones de control. Por este motivo se utilizan de forma mayoritaria en las industrias [43],[44].

El controlador PID al estar conformado por los tres controladores permiten actuar sobre el error, además de compensar las fallas del sistema; eliminando los errores estacionarios y predecir el efecto del control proporcional concediendo estabilizar el sistema de una manera más rápida, al presentarse ante una falla o perturbación. Las señales tanto de acondicionamiento como de transferencia vienen dado por [44],[45]:

$$E_a = K_p E(s) \left[1 + sT_d + \frac{1}{sT_i} \right] \quad (9)$$

$$G_c(s) = \left[K_p + sK_d + \frac{K_i}{s} \right] \quad (10)$$

Dónde:

K_i	Constante integral
K_d	Constante derivativa
K_p	Constante proporcional
E_a	Señal de accionamiento
G_c	Función de transferencia
s	Constante de Laplace

5. Diseño de sistema de control tolerante a fallos

Existen diferentes tipos de controladores tolerante a fallos pasivos, que se utilizan para estabilizar al sistema cuando se encuentra ante perturbaciones o fallas. Existen dos tipos de fallos, los que se anticipan al diseñar el control tolerante a fallos y los que suceden cuando la MR está funcionando para ello se utilizan los siguientes controladores:

- Control por modelo interno (CMI). Es el más eficaz para evitar fallas o perturbaciones, presenta robustez en su sistema. Tiene la ventaja que el diseño del controlador está adaptado para ciertas condiciones comprobando el estado nominal del sistema. El CMI es utilizado para diseñar controladores que complementen la robustez de toda la MR [31], [46]–[49].
- La estimación de estado. Este tipo de controlador depende mucho de la transformación de los datos medidos, además que, el desarrollo se basa en la respuesta de una señal escalón. La utilización de estimadores es necesario, ya que se necesita valores mínimos absolutos para que el sistema no varíe [31], [46]–[49].

En el diseño de los sistemas de control tolerante a fallos existen varios métodos similares, más no iguales, como el h infinito (H_∞) y h_2 que, son los más utilizados en cuanto a controladores robustos refiere.

Se diferencian en que el H_∞ calcula el valor máximo del módulo de la matriz del controlador, mientras que el h_2 calcula la desviación mínima de la matriz [50].

5.1 Diseño del controlador H_2 .

Teniendo en cuenta que si queremos minimizar ya sea energía o potencia se debe utilizar este método.

El diseñar el controlador robusto implica calcular de una manera directa la desviación mínima del controlador con el fin de obtener los resultados que esperamos. Este método utiliza una función de costo, que engloba todas las variables y especificaciones para que sea un sistema robusto.

5.2 Diseño del controlador H_∞ .

Este controlador permite minimizar el máximo valor de la frecuencia de una matriz, que contenga los requerimientos necesarios para que el controlador del sistema sea robusto. Esto se puede observar en la figura 2 [50].

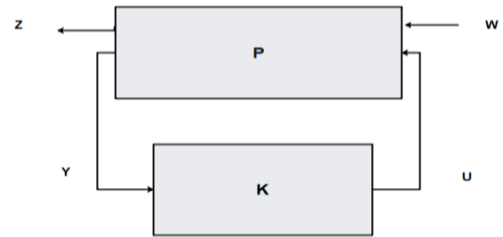


Fig. 2. Sistema de control por H_∞ .

La figura 2 muestra las variables de estado como se muestra en la ecuación 14, mientras que K es el controlador robusto H_∞ , como se muestra en la ecuación 16. Al controlador robusto H_∞ se lo conoce por otro nombre como es el problema de mínima ganancia [51].

$P(s)$ representa las variables de estado, mientras que T_{zw} es la función de costo o la matriz de función de transferencia de lazo cerrado. En la ecuación 11 se representa el vector de salida [50], [52].

$$z = T_{zw} * \omega \quad (11)$$

Donde z es el vector de salida y w es el vector de entrada y se representan en las ecuaciones 12 y 13 respectivamente mientras que T_{zw} es la función de costos y depende de los casos de sensibilidad.

$$z = [z_1 \ z_2 \ z_3]^T \quad (12)$$

$$\omega = [\gamma \ \eta \ d_0 \ d_i]^T \quad (13)$$

La representación de $P(s)$ está dada por:

$$P(s) = [A_p \ B_p \ C_p \ D_p] \quad (14)$$

Donde:

$$B_p = [B_1 \ B_2]$$

$$C_p^T = [C_1 \ C_2] \quad (15)$$

$$D_p = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix}$$

$$K(s) = K_c[sI - A_p - (1/\gamma^2)B_1B_1^T X_\infty - B_2K_c - ZK_0C_2]^{-1}K_0 \quad (16)$$

Mientras que la planta representada por las variables de estado como se muestra en la ecuación 16.

$$\begin{aligned} \dot{x}_p &= A_p x_p + B_1 \omega + B_2 u \\ z &= C_1 x + D_{11} \omega + D_{12} u \\ e &= C_2 x + D_{21} \omega + D_{22} u \end{aligned} \quad (17)$$

6. Formulación del problema

Sintonizar un controlador robusto que detecte las pérdidas de realimentación de voltaje, perturbaciones y fallas sobre la MR y a su vez pueda asumir estos eventos y controlarlos hasta que el sistema pueda volver a su estado de trabajo normal es el principal problema del presente trabajo.

Se implementa una MR AC/DC que cuenta con: generación fotovoltaica, banco de baterías, convertidores con cargas lineales y no lineales, además cuenta con un inversor bidireccional con

conexión al sistema eléctrico. Este sistema se direcciona hacia un control H_∞ , contando con perturbaciones de carga lineal de conexión a los 0.5 segundos y de desconexión a 1 segundo, además de inducir una pérdida de realimentación del control local AC/DC a los 1.5 segundos.

De esta manera el control se está realizando en el conversor. El controlador robusto H_∞ reacciona dependiendo de la referencia.

En las tablas 1 y 2 se puede observar los datos nominales de las cargas implementadas en la MR, tanto en AC como en DC.

Tabla 1: Datos nominales de las cargas DC

	Voltaje kV	Corriente A	Potencia W
Panel PV	64.2	5.96	383
Carga DC	500	2.2	1000
Batería	220	100	22000

Tabla 2: Datos nominales de las cargas AC

	Voltaje kV	Corriente A	Potencia W
Carga Inductiva	260	6	1500
Carga lineal	260	4.5	1200
Trafo	260	8	200000
Red	25000	22	550000

6.1 Diseño del Controlador propuesto

La MR AC/DC se va a controlar por medio del control H_∞ y el PID, sintonizándolos para reaccionar ante fallas lineales, es decir, ante la pérdida de carga del sistema o el aumento excesivo de voltaje. Esto conlleva a que el sistema pase por pérdida de realimentación del control local AC/DC y por perturbaciones abruptas sobre la MR

AC/DC que afectan considerablemente el perfil de tensión.

El control H_∞ está compuesto por un conmutador que realiza el cambio de la referencia con pérdida de realimentación del control local AC/DC. La señal principal de entrada que requiere el controlador es el voltaje nominal de la MR. Consta de una retroalimentación a lazo cerrado, además de, tener la capacidad de detección de la sensibilidad en valores unitarios. El controlador está conectado a un observador el cual permite estimar la salida y minimizar el margen de error, esto se lo puede observar en la figura 3.

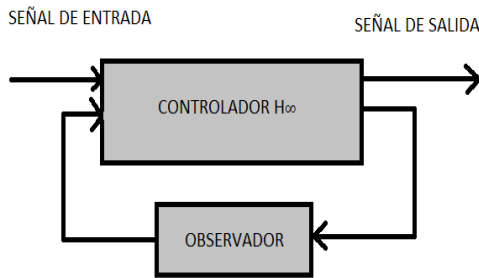


Fig. 3. Controlador tolerante a fallos pasivo H_∞ implementado.

El observador permite adquirir la información de la matriz de espacio de estado. A continuación, se muestra el algoritmo que utiliza la fórmula de Ackermann, permitiendo estimar la ganancia de los polos esperando que el controlador obtenga la mejor respuesta con respecto al sistema.

Tabla 3: Algoritmo utilizado y descripción de variables

Nomenclatura	Descripción
Sg	constante de maximización de bucle cerrado H_∞ , $Sg=0.4983$
Wo	constante de integrador H_∞ , $Wo=1$
Pw	función objetivo
L	ganancia del controlador H_∞
C1	Control de retroalimentación negativa

Po	polos deseados
M	función de transferencia del sistema
Q	pre-filtro de valores ideales del modelo de espacio de estado
Co	controlador general con la función de costos
P	matriz espacios de estados
A,B,C,D	matrices del modelo en variables de estado

Algoritmo

Paso 1 **Entrada:** $P \leftarrow (\{A,B,C,D\} \in R)$

Paso 2 **Salida:** $(\{M(s)\} \in s)$

Paso 3 $[num, den] \leftarrow th2tf(tc);$

Paso 4 $Sg \leftarrow \max(\sigma(Pw));$
 $Pw \leftarrow Pw/Sg;$
 $Cinf \leftarrow ncfsyn(Pw);$

Paso 5 $C1 \leftarrow (Wi, Wo, Cinf)$
 $L \leftarrow (P, C1)$
 $Co \leftarrow [C1, Q]$

Paso 6: Retorna: $M(s);$

7. Caso de estudio:

La figura 4 muestra a la MR diseñada para llegar al objetivo propuesto en el presente trabajo, está conformada por cargas DC como lineales que se conectan a través de convertidores DC/DC al convertidor principal bidireccional AC/DC. De la misma manera se conectan las cargas AC al convertidor principal, además de enlazarse la MR a la red principal por medio de un transformador. De esta manera la MR puede trabajar como una carga o fuente de generación hacia la red principal. Las perturbaciones y la pérdida de retroalimentación del control local AC/DC, se presentan en el convertidor bidireccional AC/DC. Es

ahí donde se coloca el control H_∞ y el observador.

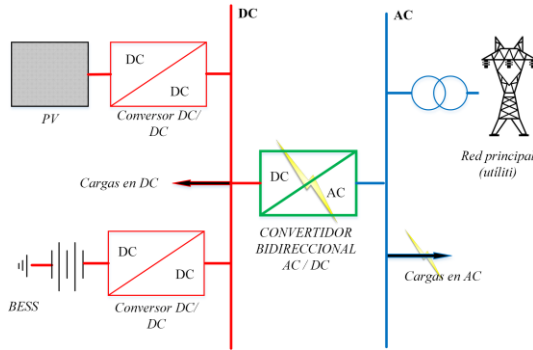


Fig. 4. Caso de estudio: MR híbrida tipo CA/CD.

Se tiene una MR AC/DC la cual va a estar sometida a perturbaciones y pérdidas de realimentación del control local AC/DC. La planta viene dada como se muestra en la ecuación 18 y a partir de esta se va a diseñar tanto el controlador como el observador, donde $P(s)$ es la función de transferencia de la MR utilizada en el presente trabajo.

$$P(s) = \frac{64.56s^2 + 7.8^3s + 4.26^8}{s^3 + 711s^2 + 6.27^5s + 8.4^7} \quad (18)$$

7.1 Modelo matemático de la MR.

El diseño de Control Tolerante a Fallos por sus siglas en inglés FTC por H_∞ requiere de los modelos matemáticos en espacio de estados para los diferentes sistemas y subsistemas que conforman una MR en AC/DC. Tanto para el análisis de estabilidad como para obtener un mejor desempeño del controlador robusto tolerante a fallos propuesto, se identifica el convertidor basado en el conocimiento [48].

El modelamiento del controlador robusto se hace de acuerdo a las ecuaciones matriciales del PID. De esta manera se obtiene las ecuaciones del espacio de estados de manera matemática. A continuación, como se muestra en 19 la matriz de estados identificadas para el sistema en estudio.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (19)$$

Donde:

$$A = \begin{bmatrix} -692566 & -593.19 & -414.04 \\ 1018.65 & -102.36 & 25.72 \\ 67.68 & 338.77 & 83.77 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 8.12 \\ -0.65 \\ -1.24 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$C = [6.01 \quad -0.99 \quad 11.79]$$

$$D = [0]$$

La obtención de las matrices de estados permite realizar una correcta sintonización, además de los linealización de la planta. Mismas que se obtiene los valores iniciales en control PID para implementar control H_∞ .

7.2 Modelo matemático del Controlador H_∞ .

El modelo matemático del controlador robusto depende de las matrices de espacio de estado como se muestra en la ecuación 20, al simular el modelo de bucle H_∞ óptimo con la implementación de la función de Matlab síntesis de controlador de factor comprimido normalizado, (NCF por sus siglas en inglés); la cual permite determinar el modelo del controlador H_∞ de forma general del bucle cerrado con retroalimentación negativa a través de la matriz de estado de espacio.

La ecuación del controlador H_∞ (16) depende de $P(s)$, donde a través de un entorno de programación virtual de cálculo matemático Matlab, se puede obtener $K(s)$, para seguir con el objetivo de implementar el control tolerante a fallas, que permitan aumentar la confiabilidad del sistema.

A continuación, como se muestra en la ecuación 21 se muestra la matriz de

estados del sistema obtenidas para el control el control H_∞ .

$$A = \begin{bmatrix} 697566 & 593186 & 414043 \\ 17708 & 35116 & 1149 \\ 4 & 7 & 0 \\ 101865 & 102362 & 257224 \\ 29531 & 7762 & 95658 \\ 7 & 7 & 6 \\ 676823 & 338773 & 837758 \\ 19570 & 83829 & 72391 \\ 5 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$B = \begin{bmatrix} 819951 \\ 26775 \\ 3 \\ 0.649050 \\ 50191 \\ 0 \\ 124468 \\ 45062 \\ 8 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 600495 & 0.98854 & 117938 \\ 19766 & 85769 & 2106 \\ 8 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = [0]$$

7.3 Modelo matemático del observador complementario.

La implementación del modelo matemático del observador como se muestra en la ecuación 21.

$$\hat{\dot{x}} = A\hat{x} + Bu + L(y - \hat{y}) \quad (21)$$

Donde $A_{3 \times 3}$, $B_{3 \times 1}$, $C_{1 \times 3}$ y $D_{1 \times 1}$ son las matrices de estado de espacios del conversor obtenidas anteriormente en la ecuación 20. Lo representa la ganancia del observador, s representa el controlador PID, mientras que $Y(s)$ es la salida del observador y $u(s)$ es la entrada.

8. Análisis de resultados

Al someter a la MR a pérdida de realimentación del control local AC/DC sin límite y perturbaciones limitadas se tiene los siguientes resultados como se muestra en la figura 5. Se tiene la

comparación entre el controlador PID y el H_∞ .



Fig. 5. Comparación de resultados PID y H_∞ ante una perturbación fuerte y un fallo.

La grafica 5 muestra al controlador PID en sistemas lineales actúa y obtiene una respuesta estimada frente a las perturbaciones de gran magnitud a las que se somete el sistema, sin embargo, la reacción frente a una falla no limitada, es decir, fallas lineales.

El controlado H_∞ ante la pérdida de realimentación del control local AC/DC lineales, significativas y perturbaciones mayores actúa de manera inmediata en mantener la referencia, esto debido a la colaboración del observador. De esta manera intenta continuar con los datos planteada dentro de la planta, detectando las pérdidas de retroalimentación del control local AC/DC, además de las perturbaciones abruptas mismas que provocan huecos de tensión y afectan al perfil de tensión del sistema teniendo como consecuencia que las protecciones del sistema actúen.

Tomando en cuenta los resultados a los 1.5(s) se produce la pérdida de realimentación del control local AC/DC, el controlador H_∞ reaccione de la manera esperada, manteniendo la referencia en todo el tiempo que se presenta la pérdida de realimentación del control local AC/DC.

La tabla 4 muestra los valores de voltaje utilizando el controlador PI (VPI) y el controlador robusto H_∞ (VH ∞) en

las perturbaciones (P1 y P2) correspondientes a 1 y 1.5 segundos como se planteó en la formulación del problema y ante la pérdida de retroalimentación del control local AC/DC visualizada como P3 y en el sistema como P0.

Tabla 4: Comparación de voltajes utilizando PI y H_∞ .

	VPI	VH ∞
P1	438,1 V	415,6 V
P2	564,4 V	664,2 V
P3	1055 V	499,5 V
P0	719,9 V	500,3 V

El comportamiento matemático de la plata se puede observar en la figura 6, donde se aprecia al sistema sin el controlador, también se puede apreciar cómo actúa el controlador PID y el controlador robusto H_∞ .

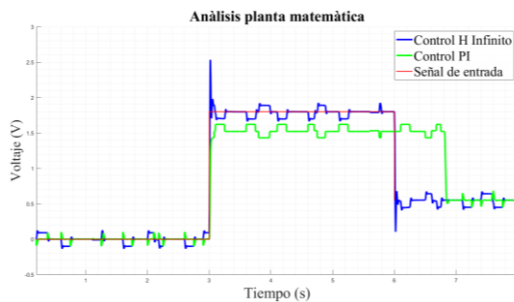


Fig. 6. Comportamiento matemático de la planta.

Como se puede apreciar en la gráfica 6 el control PID no reacciona como se desearía, ya que al ingresar varias perturbaciones y la pérdida de realimentación del control local AC/DC pierde la referencia mientras que el controlador H_∞ mantiene la referencia mediante el ingreso de varias señales es decir las perturbaciones y fallas, obteniendo los resultados esperados propuestos como objetivos principales del trabajo investigativo.

Al analizar los resultados se concluye que el controlador H_∞ corrige el error de perturbaciones y pérdidas de

realimentación del centro local AC/DC de manera separada funciona de acuerdo a lo esperado. Sin embargo, al actuar frente a ambos el comportamiento no es el esperado, el controlador no reacciona ya que, la unión de ambos acontecimientos significa que, en el controlador ingresan varias señales de entrada con lo que es necesario la utilización del observador como apoyo para mantener la estabilidad en la planta y prolongar el continuo funcionamiento. Esto se lo puede observar en la figura 7.

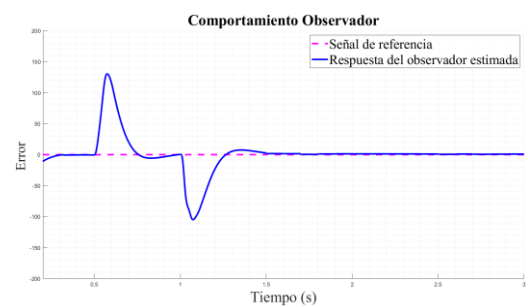


Fig. 7. Comportamiento dinámico del error de estimación.

9. Conclusiones

Una vez que se sintoniza y se simula el controlador H_∞ para la MR propuesta se comprueba que la utilización del observador es necesaria para que la señal de referencia no se pierda cuando sucede la pérdida de realimentación del control local AC/DC y las perturbaciones. Al igual que el H_∞ el PID fue diseñado para mitigar estas pérdidas de realimentación del control local AC/DC, sin embargo, el controlador no actuó ya que al llegar a la falla lineal perdió la referencia y deja al sistema inestable.

El controlador H_∞ implementado funciona de manera eficaz ante la pérdida de realimentación del control local AC/DC. Al ser sometido ante perturbaciones en comparación con el controlador PID actúa de manera un poco más lenta.

Complementar un observador lineal en conjunto con el controlador robusto por H_∞ permite obtener un mejor comportamiento dinámico del controlador., se debe implementar un controlador tal que, actué de la misma forma en perturbaciones y pérdida de realimentación del control local AC/DC.

10. Trabajos Futuros

Para trabajos futuros se propone simular el controlador h_2 y verificar cuál es su comportamiento frente a varias perturbaciones y fallas lineales.

También se propone trabajar en un controlador H_∞ que actúe de la misma manera ante perturbaciones y pérdidas de realimentación del control local AC/DC separadas y con el mismo nivel de dificultad que se demostró en el presente trabajo como fue simular las dos fallas simultáneamente.

Realizar estudios de controladores basados en estrategias de tolerancia a fallos que permitan mejorar la estabilidad en régimen permanente.

11. Referencias

- [1] L. Ortiz Matos, A. Aguila Tellez, R. C. Hincapié Reyes, and J. . González Sanchez, "Multi-Criteria Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, p. 012020, 2017.
- [2] D. E. Olivares *et al.*, "Trends in microgrid control," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1905–1919, 2014.
- [3] J. L. M. Bastidas and L. O. Matos, "Localización de fallas en microredes eléctricas basado en un modelo Markoviano.," Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [4] J. Chen, R. J. Patton, and Z. Chen, "Active fault-tolerant flight control systems design using the linear matrix inequality method," *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. 21, no. 3, pp. 77–84, 1999.
- [5] A. Rios-bolivar, M. Heraoui, and F. Rivas, "Fault Tolerant Control : An Imprecise Computation Setting," no. May 2009, 2014.
- [6] A. Vargas-mart, L. E. Garzaca, and R. Morales-menendez, "Sistemas de Control Tolerante a Fallas en Redes de Distribución de Energía," in *CLCA 2014*, 2014.
- [7] S. Navigation and N. S. Route, "Control IMC No Loneal Tolerante A Fallos," vol. 4, pp. 52–63, 2007.
- [8] R. D. Medina, "Micro-redes basadas en Electrónica de Potencia: Características, Operación y Estabilidad," *Argentina*, pp. 1–10, 2014.
- [9] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou, and A. Dimeas, "Microgrids management," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 6, no. 3, pp. 54–65, 2008.
- [10] M. S. Mahmoud, N. M. Alyazidi, and M. I. Abouheaf, "Adaptive intelligent techniques for microgrid control systems: A survey," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 90, pp. 292–305, 2017.
- [11] N. Bottrell and T. Green, "Modeling microgrids with active loads," *2012 IEEE 13th Work*, vol. 16, no. 4, pp. 406–409, 2000.
- [12] J. Rey, P. Vergara, G. Osma, and G. Ordóñez, "Consideration for the Design and Implementation of Microgrids," *VII Simp. Int. sobre Calid. la Energía*

- Eléctrica 2013 SICEL.*
- [13] J. M. Rey-López, P. P. Vergara-Barrios, G. A. Osma-Pinto, and G. Ordóñez-Plata, "Generalities about Design and Operation of Microgrids," *Dyna*, vol. 82, no. 192, pp. 109–119, 2015.
 - [14] D. Carrión and L. Ortiz, "Generación distribuida a partir de bicicletas estáticas y sistemas híbridos," *Ingenius*, vol. 10, pp. 44–48, 2013.
 - [15] G. Mitchel, "Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el Complejo E3T de la Universidad Industrial de Santander," p. 21, 2019.
 - [16] A. Aguila, D. Carrión, and L. Ortiz, "Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems," *IEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2190–2194, 2015.
 - [17] M. Pinna, G. Del Chiappa, and M. Atzeni, "Do consumers really care about food quality labels?," *Qual. - Access to Success*, vol. 18, no. 160, pp. 135–140, 2017.
 - [18] K. De Brabandere, K. Vanthournout, J. Driesen, G. Deconinck, and R. Belmans, "Control of microgrids," *2007 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES*, no. July, 2007.
 - [19] M. Ruiz, P. Masache, and E. Inga, "Optimal Communications for Smart Measurement of Electric Energy Reusing Cellular Networks," *2018 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 198–204, 2018.
 - [20] M. G. R. Maldonado, "Wireless sensor network for smart home services using optimal communications," *Proc. - 2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci. INCISCOS 2017*, vol. 2017–Novem, pp. 27–32, 2018.
 - [21] M. Ruiz, P. Masache, and J. Dominguez, "High availability network for critical communications on smart grids," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 2178, no. Ssn, pp. 13–17, 2018.
 - [22] D. Arias Cazco, R. A. Robayo Vasco, and L. Ortiz Matos, "Novel inteligente Step Voltaje Regulator (SVR) for residential electrical connections," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 4, pp. 1656–1661, 2016.
 - [23] T. L. Vandoorn, B. Meersman, L. Degroote, B. Renders, and L. Vandeveld, "A control strategy for islanded microgrids with DC-link voltage control," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 26, no. 2, pp. 703–713, 2011.
 - [24] N. D. Hatziargyriou *et al.*, "Microgrids - Large scale integration of microgeneration to low voltage grids To cite this version: HAL Id: hal-00526633," 2018.
 - [25] N. Hatziargyriou and G. Strbac, "Microgrids – A possible future energy configuration?," *IEA Semin. "Distribution Gener. Key issues, challenges, roles,"* no. March, 2004.
 - [26] S. I. Freire Piedra and L. Ortiz Matos, "Modelado y simulación de un sistema automático de adquisición de datos en centrales hidroeléctricas pequeñas," *Universidad Politécnica Salesiana*, 2015.
 - [27] W. E. Guacaneme Muñoz, A. F. Rodríguez Benavides, L. M. Gómez Páez, ilmer08@hotmail.com, andres920208@hotmail.com, and pgomezlm@gmail.com, "Emulador de una Microrred Residencial Aislada con un Sistema de Gestión de Energía a Partir de Generación

- Fotovoltaica y Tecnología V2g,” 2016.
- [28] Y. Hakuto, T. Tsuji, and J. Qi, “Autonomous decentralized stabilizing control of DC microgrid,” *2017 IEEE 2nd Int. Conf. Direct Curr. Microgrids, ICDCM 2017*, pp. 292–296, 2017.
- [29] Z. Chen, “Research on Grid-connected and Islanding Control Strategy of AC / DC Hybrid Microgrid in a Small Plant,” POLITECNICO DI MILANO, 2018.
- [30] E. Unamuno and J. A. Barrena, “Hybrid ac/dc microgrids - Part II: Review and classification of control strategies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 1123–1134, 2015.
- [31] M. Hosseinzadeh and F. R. Salmasi, “Fault-Tolerant Supervisory Controller for a Hybrid AC/DC Micro-Grid,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. PP, no. 99, pp. 1–15, 2016.
- [32] L. Jia, Y. Zhu, and Y. Wang, “Architecture design for new AC-DC hybrid micro-grid,” *2015 IEEE 1st Int. Conf. Direct Curr. Microgrids, ICDCM 2015*, pp. 113–118, 2015.
- [33] E. Unamuno and J. A. Barrena, “Hybrid ac/dc microgrids - Part I: Review and classification of topologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 1251–1259, 2015.
- [34] L. Priyadarshane, “Modeling and Control of Hybrid AC/ DC Micro Grid,” pp. 1–60, 2012.
- [35] N. Vieyra, P. Rolando, M. Ortiz, L. M. Castro, and S. El, “Modelado Dinamico de Microrredes con Generacion Eolica: Enfoque Practico,” *Memorias del Congr. Nac. Control Automático*, pp. 10–12, 2018.
- [36] Y. Xu *et al.*, “Distributed subgradient-based coordination of multiple renewable generators in a microgrid,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 29, no. 1, pp. 23–33, 2014.
- [37] M. Shahabi, M. R. Haghifam, M. Mohamadian, and S. A. Nabavi-Niaki, “Microgrid dynamic performance improvement using a doubly fed induction wind generator,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 24, no. 1, pp. 137–145, 2009.
- [38] J. G. Calderón-Guizar, “Estudios de estabilidad transitoria en sistemas eléctricos industriales con generación propia interconectados con el sistema de transmisión Transient Stability Studies on Industrial Power Systems Interconnected to the Transmission Grid,” *Ing. Investig. y Tecnol. Núm.*, vol. 4, pp. 445–451, 2010.
- [39] X. Tang, W. Deng, and Z. Qi, “Research on micro-grid voltage stability control based on supercapacitor energy storage,” *Proc. - 12th Int. Conf. Electr. Mach. Syst. ICEMS 2009*, pp. 1–6, 2009.
- [40] R. Lin, D. Wang, L. Xu, L. Ding, and H. Yang, “Using STATCOM based on two-degree-of-freedom internal model control to improve the voltage stability of islanded micro-grid,” *Proc. 2017 IEEE 2nd Inf. Technol. Networking, Electron. Autom. Control Conf. ITNEC 2017*, vol. 2018–Janua, pp. 1192–1196, 2018.
- [41] R. Aghatehrani and R. Kavasseri, “Sensitivity-Analysis-Based Sliding Mode Control for Voltage Regulation in Microgrids,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 1,

- pp. 50–57, 2013.
- [42] A. Mondal and S. Misra, “DCoE : Game-Theoretic Dynamic Coalition Extension with Micro-Grid Failure in Smart Grid,” *2017 IEEE Int. Conf. Adv. Networks Telecommun. Syst.*, pp. 1–6.
 - [43] N. A. M. Kamari, I. Musirin, M. M. Othman, U. T. Mara, and S. Alam, “SVC-PID Based Angle Stability Enhancement Using PSO Technique,” *Recent Adv. Comput. Sci. Appl.*, pp. 103–110.
 - [44] F. Quinteros, “Dimensionamiento Óptimo De Svc Para Mejorar La Estabilidad De Voltaje Y Disminuir Las Pérdidas De Potencia En El Sistema De Transmisión Mediante Enjambre De Partículas (Pso),” 2017.
 - [45] Lalit and A. K. Jhala, “OPTIMIZATION OF ELECTRICAL POWER TRANSMISSION SYSTEM USING PSO WITH SVC,” *Int. J. Technol. Res. Eng.*, vol. 2, no. 9, pp. 1859–1865, 2015.
 - [46] J. G. B. Sánchez and L. O. Matos, “Estrategia de tolerancia a fallas por condiciones ambientales para IEDS en subestaciones de distribución,” Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
 - [47] F. M. Armas Chamorro and L. Ortiz Matos, “Modelización con Petri Net de una aplicación automática de diagnóstico y restauración de avería en sistema de distribución,” Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
 - [48] G. K. Chinchuña Toledo and L. Ortiz Matos, “Mejoramiento de la fiabilidad en microrredes mediante el control robusto de voltaje usando técnicas pasivas de tolerancia a fallos,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
 - [49] L. O. Matos, J. Wilson, and G. Sanchez, “Reconfiguration Strategy for Fault Tolerance of Power Distribution Systems Using Petri Net,” in *Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, IEEE, 2016.
 - [50] G. Salazar, “Simulacion de tecnicas de cotrol avanzado aplicadas a casos de estudio,” *Tesis*, p. 155, 2010.
 - [51] M. Gil, *Síntesis de controladores robustos mediante el análisis de la compatibilidad de especificaciones e incertidumbre*, vol. 91. 2017.
 - [52] T. Bayas, “Diseño De Estrategias De Control Difuso Robusto Ante Incertidumbre Paramétrica Para Plantas De Colectores Solares,” *Tesis*, pp. 1026–1030, 2016.

11.1 Estado del Arte

Fig 8. Matriz de estado del arte

CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO CONTROL ROBUSTO H_∞ Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS																								
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Control robusto H_∞	Micro redes	Controladores PID	Confiabilidad y estabilidad de las micro redes	Micro redes	Controlador robusto H_∞	Observador	Controlador PID	Estrategias de tolerancia a fallas	Capacidad del PID	Capacidad de la Micro red	Capacidad del controlador robusto H_∞	Cargas AC/DC	Controlador PID	Controlador robusto H_2	Controlador robusto IMC	Controlador robusto H_∞	Observador	Controlador PID	Controlador robusto H_∞	Controlador robusto H_2
1	2017	Multi-Criteria Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method	L. Ortiz, A. Aguila, R. C. Hincapié, J Sanchez	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	□	✗	□	□	✗	□	□	✗	□	✗	✗	□
2	2014	Trends in microgrid control	E. Olivares	✗	✗	□	□	✗	✗	□	□	✗	✗	□	✗	✗	□	□	□	✗	✗	□	✗	□
3	2018	Localización de fallas en microredes eléctricas basado en un modelo Markoviano	M. Bastidas, L. Ortiz	✗	✗	✗	□	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	✗	✗	□	✗	□	✗	✗	✗
4	1999	Active fault-tolerant flight control systems design using the linear matrix inequality method	J. Chen, J. Patton	✗	✗	□	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	✗	□
5	2014	Fault Tolerant Control : An Imprecise Computation Setting	A. Rios-bolivar, M. Heraoui, F. Rivas	✗	✗	□	□	✗	✗	□	□	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	✗	✗	□	✗	□
6	2014	Sistemas de Control Tolerante a Fallas en Redes de Distribución de Energía	A. Vargas,E. Garza, R. Morales	✗	✗	✗	□	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	✗	✗	□	✗	□	✗	✗	✗
7	2007	Control IMC No Loneal Tolerante A Fallos	S. Navigation, N. S. Route	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	□	✗	□	□	✗	□	✗	✗	□	✗	✗	□
8	2014	Micro-redes basadas en Electrónica de Potencia: Características, Operación y Estabilidad	D. Medina	✗	✗	□	□	✗	✗	□	□	✗	✗	□	✗	✗	□	□	□	✗	✗	□	✗	□
9	2008	Microgrids management	F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatzigiargyriou, A. Dimeas	✗	✗	□	□	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	□	□	✗	✗	✗	□	□	✗	✗

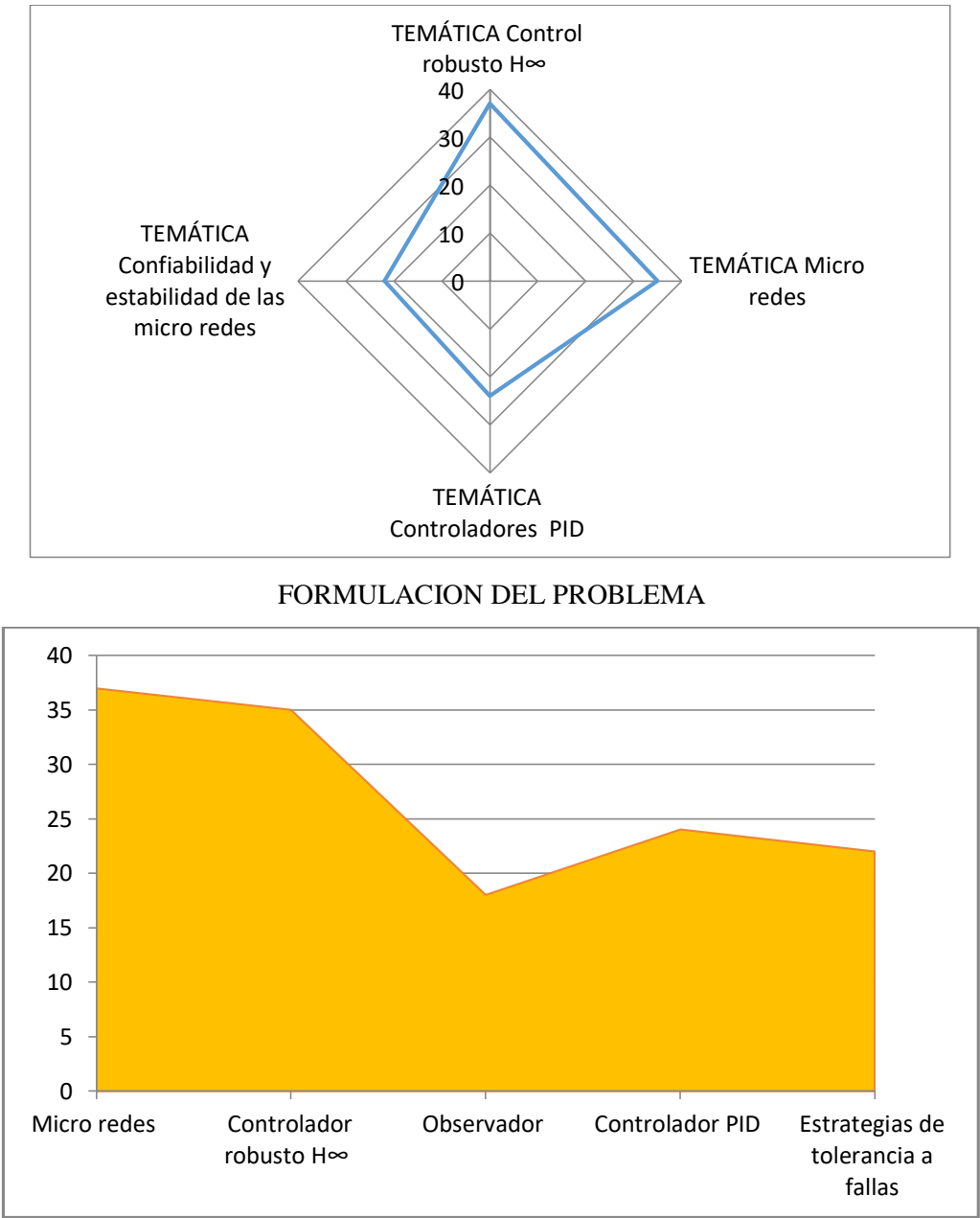
CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO CONTROL ROBUSTO H_∞ Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS																									
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA						
	AÑO	TÍTULO DEL ARTICULO	REFERENCIA	Control robusto H_∞	Micro redes	Controladores PID	Confiabilidad y estabilidad de las micro redes	Micro redes	Controlador robusto H_∞	Observador	Controlador PID	Estrategias de tolerancia a fallas	Capacidad del PID	Capacidad de la Micro red	Capacidad del controlador robusto H_∞	Cargas AC/DC	Controlador PID	Controlador robusto H_2	Controlador robusto IMC	Controlador robusto H_∞	Observador	Controlador PID	Controlador robusto H_∞	Controlador robusto H_2	
10	2017	Adaptive intelligent techniques for microgrid control systems: A survey	S. Mahmoud, M. Alyazidi, I. Abouheaf	✖	✖	✖	✖	✖	✖	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	□	✖	✖	□	✖	✖	□	
11	2000	Modeling microgrids with active loads	N. Bottrell, T. Green	✖	✖	□	□	✖	✖	□	□	✖	✖	□	✖	✖	□	□	□	✖	✖	□	✖	□	
12	2013	Consideration for the Design and Implementation of Microgrids	J. Rey, P. Vergara, G. Osma,G. Ordóñez	✖	✖	✖	□	✖	✖	✖	✖	□	□	□	□	□	✖	✖	□	✖	□	✖	✖	✖	
13	2015	Generalities about Design and Operation of Microgrids	M. Rey, P. Vergara	✖	✖	✖	✖	✖	✖	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	□	✖	✖	□	
14	2013	Generación distribuida a partir de bicicletas estáticas y sistemas híbridos	D. Carrión and L. Ortiz	✖	✖	□	□	✖	✖	□	□	✖	✖	□	✖	✖	□	□	□	✖	✖	□	✖	□	
15	2019	Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el Complejo E3T de la Universidad Industrial de Santander	G. Mitchel	✖	✖	✖	□	✖	✖	✖	✖	□	□	□	□	✖	✖	✖	✖	✖	□	✖	✖	✖	
16	2015	Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems	A. Aguila, D. Carrión, and L. Ortiz	✖	✖	✖	✖	✖	✖	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	□	✖	✖	□	
17	2017	Do consumers really care about food quality labels?	M. Pinna, G. Del Chiappa, and M. Atzeni	✖	✖	□	□	✖	✖	□	□	✖	✖	□	✖	✖	□	□	□	✖	✖	□	✖	□	
18	2007	Control of microgrids	K. De Brabandere, K. Vanthournout, J. Deconinck, and R. Belmans	✖	✖	✖	□	✖	✖	✖	✖	□	□	✖	□	✖	✖	✖	✖	✖	□	✖	✖	✖	
19	2016	Optimal Communications for Smart Measurement of Electric Energy Reusing Cellular Networks	M. Ruiz, P. Masache, and E. Inga	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	
20	2011	Wireless sensor network for smart home services using optimal communications	R. Maldonado	□	□	□	□	□	□	✖	□	✖	✖	□	✖	✖	□	□	□	□	✖	□	□	□	
21	2018	High availability network for critical communications on smart grids	M. Ruiz, P. Masache, and J. Dominguez	□	□	✖	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	✖	✖	□	□	□	✖	□	□	

CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO CONTROL ROBUSTO H_{∞} Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS																								
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Control robusto H_{∞}	Micro redes	Controladores PID	Confiabilidad y estabilidad de las micro redes	Micro redes	Controlador robusto H_{∞}	Observador	Controlador PID	Estrategias de tolerancia a fallas	Capacidad del PID	Capacidad de la Micro red	Capacidad del controlador robusto H_{∞}	Cargas AC/DC	Controlador PID	Controlador robusto H2	Controlador robusto IMC	Controlador robusto H_{∞}	Observador	Controlador PID	Controlador robusto H_{∞}	Controlador robusto H2
22	2004	Novel inteligente Step Voltage Regulator (SVR) for residential electrical connections	D. Arias Cazco, R. A. Robayo Vasco, and L. Ortiz Matos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	2015	A control strategy for islanded microgrids with DC-link voltage control	L. Vandoorn, B. Meersman, L. Degroote, B. Renders, and L. Vandevelde	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	2018	Microgrids - Large scale integration of microgeneration to low voltage grids	D. Hatzigiargyriou	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	2016	Microgrids – A possible future energy configuration ?	N. Hatzigiargyriou and G. Strbac	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	2017	Modelado y simulación de un sistema automático de adquisición de datos en centrales hidroeléctricas pequeñas	I. Freire, L. Ortiz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	2018	Emulador de una Microrred Residencial Aislada con un Sistema de Gestión de Energía a Partir de Generación Fotovoltaica y Tecnología V2g	E. Guacaneme, M. Gómez	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	2015	Autonomous decentralized stabilizing control of DC microgrid	Y. Hakuto, T. Tsuji, and J. Qi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	2016	Research on Grid-connected and Islanding Control Strategy of AC / DC Hybrid Microgrid in a Small Plant	Z. Chen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	2015	Hybrid ac/dc microgrids - Part II: Review and classification of control strategies	E. Unamuno and J. A. Barrena	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	2015	Fault-Tolerant Supervisory Controller for a Hybrid AC/DC Micro-Grid	M. Hosseinzadeh and F. R. Salmasi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	20112	Architecture design for new AC-DC hybrid micro-grid	L. Jia, Y. Zhu, and Y. Wang	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	2018	Hybrid ac/dc microgrids - Part I: Review and classification of topologies	E. Unamuno and J. A. Barrena	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	2014	Modeling and Control of Hybrid AC/ DC Micro Grid	L. Priyadarshane	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO CONTROL ROBUSTO H_{∞} Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS																									
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA						
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Control robusto H_{∞}	Micro redes	Controladores PID	Confiabilidad y estabilidad de las micro redes	Micro redes	Controlador robusto H_{∞}	Observador	Controlador PID	Estrategias de tolerancia a fallas	Capacidad del PID	Capacidad de la Micro red	Capacidad del controlador robusto H_{∞}	Cargas AC/DC	Controlador PID	Controlador robusto H_2	Controlador robusto IMC	Controlador robusto H_{∞}	Observador	Controlador PID	Controlador robusto H_{∞}	Controlador robusto H_2	
35	2009	Modelado Dinamico de Microrredes con Generacion Eolica : Enfoque Practico	✖	✖	□	✖	□	✖	□	□	✖	□	✖	□	□	✖	✖	✖	□	✖	✖	✖	✖	✖	
36	2010	Distributed subgradient-based coordination of multiple renewable generators in a microgrid	✖	✖	✖	□	✖	✖	✖	✖	□	✖	□	✖	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	✖	□
37	2009	Microgrid dynamic performance improvement using a doubly fed induction wind generator	✖	✖	✖	✖	✖	✖	✖	□	✖	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	✖	□	✖	✖	□
38	2018	Estudios de estabilidad transitoria en sistemas eléctricos industriales con generación propia interconectados con el sistema de transmisión	G. Calderón-Guizar	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
39	2013	Research on micro-grid voltage stability control based on supercapacitor energy storage	X. Tang, W. Deng, and Z. Qi	✖	✖	□	□	✖	✖	✖	□	✖	✖	□	✖	✖	✖	□	□	□	✖	✖	□	✖	□
40	2017	Using STATCOM based on two-degree-of-freedom internal model control to improve the voltage stability of islanded micro-grid	R. Lin, D. Wang, L. Xu, L. Ding, and H. Yang	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	✖	□	✖	✖	□	✖	□	□	□	✖
41	2015	Sensitivity-Analysis-Based Sliding Mode Control for Voltage Regulation in Microgrids	R. Aghatehrani and R. Kavasseri	□	□	✖	✖	□	□	□	✖	□	□	✖	□	□	□	✖	□	□	□	□	✖	□	□
42	2017	DCoE : Game-Theoretic Dynamic Coalition Extension with Micro-Grid Failure in Smart Grid	A. Mondal and S. Misra	✖	□	□	✖	✖	□	✖	□	✖	✖	□	✖	✖	□	□	□	□	✖	✖	□	✖	□
43	2015	SVC-PID Based Angle Stability Enhancement Using PSO Technique	M. Kamari, I. Musirin,M. Othman, U.Mara, and S. Alam	□	□	✖	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	✖	□	✖	□	□	✖	□	□
44	2017	Dimensionamiento Óptimo De Svc Para Mejorar La Estabilidad De Voltaje Y Disminuir Las Pérdidas De Potencia En El Sistema De Transmisión Mediante Enjambre De Particulas (Pso)	F. Quinteros	□	□	✖	□	□	□	✖	✖	✖	✖	□	✖	✖	✖	✖	□	□	□	✖	✖	□	□
45	2015	OPTIMIZATION OF ELECTRICAL POWER TRANSMISSION SYSTEM USING PSO WITH SVC	Lalit and A. K. Jhala	✖	□	□	✖	✖	□	□	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	✖	□	✖	✖
46	2018	Estrategia de tolerancia a fallas por condiciones ambientales para IEDS en subestaciones de distribución	J. G. B. Sánchez and L. O. Matos	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
47	2016	Modelización con Petri Net de una aplicación automática de diagnóstico y restauración de avería en sistema de distribución	F. Armas Chamorro and L. Matos	□	□	✖	□	□	□	✖	✖	□	✖	□	✖	✖	✖	✖	□	□	□	✖	✖	□	□

CONFIABILIDAD EN MICROREDES ELÉCTRICAS AC/DC USANDO CONTROL ROBUSTO H_∞ Y ESTRATEGIAS DE TOLERANCIA A FALLAS																										
ITEM	AÑO		TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
					Control robusto H_∞	Micro redes	Controladores PID	Confiabilidad y estabilidad de las micro redes	Micro redes	Controlador robusto H_∞	Observador	Controlador PID	Estrategias de tolerancia a fallas	Capacidad del PID	Capacidad de la Micro red	Capacidad del controlador robusto H_∞	Cargas AC/DC	Controlador PID	Controlador robusto H_2	Controlador robusto IMC	Controlador robusto H_∞	Observador	Controlador PID	Controlador robusto H_∞	Controlador robusto H_2	
48	2010	Mejoramiento de la fiabilidad en microredes mediante el control robusto de voltaje usando técnicas pasivas de tolerancia a fallos	G. K. Chinchuña Toledo and L. Ortiz Matos	✖	□	□	✖	✖	□	□	□	□	□	□	✖	✖	□	□	✖	✖	✖	✖	✖	□	✖	✖
49	2017	Reconfiguration Strategy for Fault Tolerance of Power Distribution Systems Using Petri Net	L. O. Matos, J. Wilson, and G. Sanchez	□	□	✖	□	□	□	□	✖	□	□	□	✖	□	□	□	✖	□	□	□	□	✖	□	□
50	2017	Simulacion de tecnicas de cotrol avanzado aplicadas a casos de estudio	G. Salazar	□	□	□	✖	□	□	✖	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
51	2017	Síntesis de controladores robustos mediante el análisis de la compatibilidad de especificaciones e incertidumbre,	M. Gil	✖	□	□	✖	✖	□	□	□	□	✖	✖	□	□	✖	□	□	□	□	✖	✖	□	✖	□
52	2016	Diseño De Estrategias De Control Difuso Robusto Ante Incertidumbre Paramétrica Para Plantas De Colectores Solares	T. Bayas	□	□	✖	□	□	□	□	□	✖	✖	✖	□	□	✖	✖	✖	□	□	□	□	✖	□	✖
				CANTIDAD:	37	35	24	22	37	35	18	24	22	18	20	22	19	24	13	16	37	21	24	37	13	

Figura 9. Resumen e Indicadores del estado del arte



SOLUCION PROPUESTA

